

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2002368698 A

(43) Date of publication of application: 20.12.02

(51) Int. Cl

H04B 10/16  
H01S 3/06  
H01S 3/10  
H01S 3/23  
H04B 10/02  
H04B 10/17  
H04B 10/18

(21) Application number: 2002104678

(22) Date of filing: 09.03.95

(62) Division of application: 07049917

(71) Applicant: FUJITSU LTD

(72) Inventor: SUGAYA YASUSHI  
TAKEDA YOSHINORI  
KINOSHITA SUSUMU  
CHIKAMA TERUMI

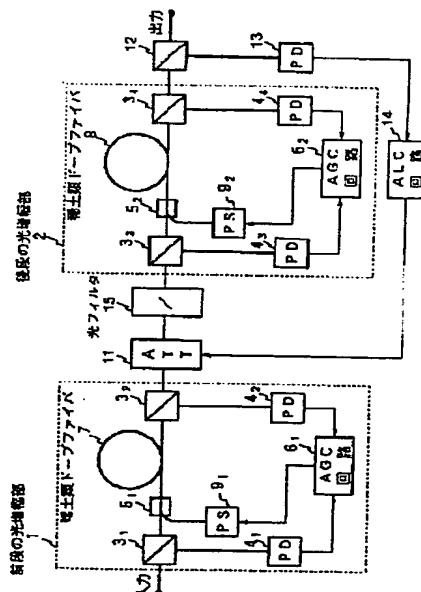
(54) WAVELENGTH MULTIPLEXING OPTICAL AMPLIFIER

COPYRIGHT: (C)2003,JPO  
本発明の実施例(3)を示す図

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wavelength multiplexing optical amplifier in a wavelength multiplex system that amplifies wavelength multiplex optical signals altogether by eliminating wavelength dependence of the gain.

SOLUTION: The wavelength multiplexing optical amplifier is provided with an optical amplifier section 1 at a pre-stage, including an AGC circuit for controlling the ratio of input optical level to an output optical level to be constant, a post-stage optical amplifier section 2 for receiving the signal light amplified by the pre-stage optical amplifier section 1 and amplifies light to control a stimulated light to be constant, a variable attenuator 11 that controls the attenuation so as to keep the optical output power of the post-stage optical amplifier constant and an optical filter 15 for wavelength characteristics compensation, which are placed between the pre-stage optical amplifier section and the post-stage optical amplifier section.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-368698  
(P2002-368698A)

(43)公開日 平成14年12月20日 (2002. 12. 20)

(51)Int.Cl.  
H 04 B 10/16  
H 01 S 3/06  
3/10  
3/23  
H 04 B 10/02

識別記号

F I  
H 01 S 3/06  
3/10  
3/23  
H 04 B 9/00

テマコト<sup>TM</sup> (参考)  
B 5 F 0 7 2  
Z 5 K 0 0 2  
J  
M

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2002-104678(P2002-104678)  
(62)分割の表示 特願平7-49917の分割  
(22)出願日 平成7年3月9日(1995.3.9)

(71)出願人 000005223  
富士通株式会社  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号  
(72)発明者 普谷 靖  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内  
(72)発明者 竹田 美紀  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内  
(74)代理人 100105337  
弁理士 真鍋 淳 (外3名)

最終頁に続く

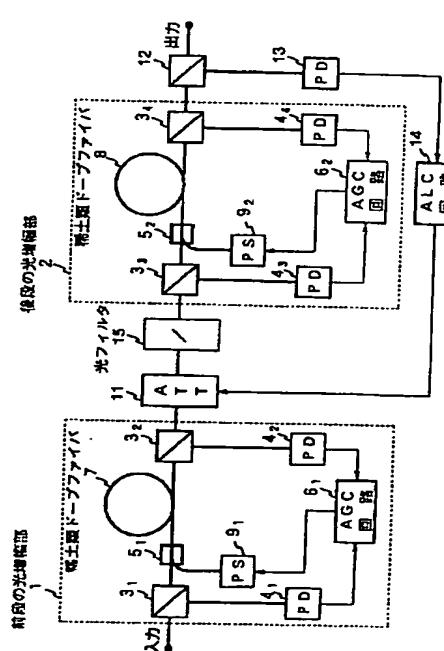
(54)【発明の名称】 波長多重用光増幅器

(57)【要約】

【課題】 波長多重システムにおける波長多重用光増幅器に関し、利得の波長依存性をなくして、波長多重光信号を一括増幅する。

【解決手段】 入出力光レベルの比が一定になるように制御するAGC回路を含む前段の光増幅部1と、この前段の光増幅部1で増幅された信号光を入力して増幅するための励起光が一定となるように制御するAGC回路を含む後段の光増幅部2と、前段と後段との光増幅部の間に、後段の光増幅部の光出力パワーを一定に保つように減衰量を制御される可変減衰器11と波長特性補償用の光フィルタ15とを備えている。

本発明の実施例(3)を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入出力光レベルの比が一定になるように制御される前段の光増幅部と、該前段の光増幅部で増幅された信号光を入力して増幅するための励起光が一定となるように制御される後段の光増幅部と、該前段と後段との光増幅部の間に該後段の光増幅部の光出力パワーを一定に保つように減衰量を制御される可変減衰器と波長特性補償用の光フィルタとを設けたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項2】 入出力光レベルの比が一定になるように制御される前段の光増幅部と、該前段の光増幅部で増幅された信号光を入力して増幅するための励起光が一定となるように制御される後段の光増幅部と、該前段と後段との光増幅部の間に該後段の光増幅部の光出力パワーを一定に保つように減衰量を制御される可変減衰器と、前記後段の光増幅部の後に波長特性補償用の光フィルタとを設けたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、波長多重システム用の光増幅器に関し、特に2段構成にすることによって利得の波長依存性を除去した波長多重用光増幅器に関する。

【0002】近年、光通信ネットワークは、通信分野に急速に浸透しているが、今後は、マルチメディア化への対応が不可欠であり、その対応策として、波長多重による大容量化が有望であるが、これには、波長多重信号光を増幅する波長多重用光増幅器が必須である。

【0003】波長多重用光増幅器は、波長多重信号光の一括増幅時に利得の波長依存性がないこと、更に、入力パワーの変化によって利得の波長依存性を生じないことが要求されている。

【0004】

【従来の技術】稀土類元素をドープした光ファイバによって、光の直接増幅を行う光増幅器は既に知られており、このような稀土類ドープファイバ光増幅器を用いて、波長多重光信号の一括増幅を行う波長多重用光増幅器の開発も一部において行なわれている。

【0005】しかしながら、稀土類ドープファイバ光増幅器の利得が波長依存性を有しない領域は、一般に極めて狭く、波長多重システム用の光増幅器として実用に耐えるものは、従来、知られていない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように、稀土類ドープファイバ光増幅器による波長多重光信号の一括増幅の際に生じる利得の波長依存性、あるいは、当初、各波長の信号光の利得が同じであっても、入力パワーが変化した場合に生じる利得の波長依存性が、特定の信号にお

ける信号対雑音比の劣化を招き、波長多重用光増幅器の実現の妨げになっていた。

【0007】本発明は、このような従来技術の課題を解決しようとするものであって、光増幅器を2段構成することによって、多波長一括増幅の際に利得の波長依存性がなく、利得の波長依存性が入力パワーの大きさによって変化しないようにした波長多重用光増幅器を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の波長多重用光増幅器は、図3を参照して説明すると、入出力光レベルの比が一定になるように制御される前段の光増幅部1と、この前段の光増幅部1で増幅された信号光を入力して増幅するための励起光が一定となるように制御される後段の光増幅部2と、前段と後段との光増幅部の間に、後段の光増幅部の光出力パワーを一定に保つように減衰量を制御される可変減衰器11と波長特性補償用の光フィルタ15とを備えている。

【0009】又入出力光レベルの比が一定になるように制御される前段の光増幅部と、この前段の光増幅部で増幅された信号光を入力して増幅するための励起光が一定となるように制御される後段の光増幅部と、該前段と後段との光増幅部の間に該後段の光増幅部の光出力パワーを一定に保つように減衰量を制御される可変減衰器と、後段の光増幅部の後に波長特性補償用の光フィルタとを備えている。

【0010】

【作用】波長多重システムにおいて、稀土類ドープファイバ光増幅器による、波長多重光信号の一括増幅時に生じる、利得の波長依存性、あるいは、当初は各波長の光信号の利得が同じであっても、入力パワーが変化したとき生じる利得の波長依存性に対して、2つの光増幅器を繰り返し接続し、前段と後段の光増幅部において、それぞれ入力パワーと出力パワーをモニタして、それぞれの励起光源に帰還をかけて、各増幅部の利得を一定にするAGC(Automatic Gain Control)制御を行なって、各光増幅部の利得の波長依存性が、入力パワーが変化しても一定になるようとする。

【0011】また、前段の光増幅部の線形な利得の波長依存性を、後段の光増幅部のAGC設定レベルを調整して制御することによって、広い入力パワーレンジにおいて補償する。即ち、ある特定の増幅帯域内において利得を等しくする。

【0012】そして、後段光増幅器のAGC設定レベルを調整して、広い入力パワーレンジにおいて、2段構成の光増幅器の利得の波長依存性を制御し、光フィルタ等の波長依存性を有する光学部品によって利得の波長依存性を操作して、後段光増幅器の所定の利得及び利得波長特性を得るために負担を軽減する。

【0013】また、広い入力パワーレンジにわたって、

利得の波長依存性を均一に保ちながら、出力一定制御機能を兼ね備えるために、後段の光増幅部の入力側に可変光減衰器を接続し、可変光減衰器の出力における光パワーをモニタして、可変光減衰器の減衰量を制御することによって、後段の光増幅部の入力が一定になるように制御するとともに、後段の光増幅部では、AGC制御、またはより簡単な、励起光パワーを一定に保つAPC制御によって、等価な効果を生じるようにし、後段の光増幅部に大きな信号光パワーが入力された場合に、AGC制御が励起エネルギーに対して破綻することを防止して、広い入力レンジにおいて、利得の波長依存性の緩和と光出力一定制御を可能にする。

【0014】以上の手段により、波長多重用光増幅器において、波長多重光信号の一括増幅の際に、入力パワーに依存して生じる利得の波長依存性を均一に保ちながら、出力一定制御を行うことができ、低雑音化、入力の広ダイナミックレンジ化、後段光増幅器の励起光電力の低減を実現することができる。

#### 【0015】

【実施例】以下図面を参照して説明する。図1において、1は前段の光増幅部、2は後段の光増幅部、3<sub>1</sub>～3<sub>4</sub>は光分岐カプラ、4<sub>1</sub>～4<sub>4</sub>はホトダイオード(PD)、5<sub>1</sub>、5<sub>2</sub>は信号光と励起光とを合分波する光カプラ、6<sub>1</sub>、6<sub>2</sub>はAGC回路、7は前段の稀土類ドープファイバ、8は後段の稀土類ドープファイバ、9<sub>1</sub>、9<sub>2</sub>は励起光源(PS)、11は可変光減衰器(ATR)、12はALC用光分岐カプラ、13はホトダイオード(PD)、14はALC(Automatic Level Control)回路である。

【0016】図1の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ3<sub>1</sub>とホトダイオード4<sub>1</sub>とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ3<sub>2</sub>とホトダイオード4<sub>2</sub>とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路6<sub>1</sub>の制御によって一定に保つように、励起光源9<sub>1</sub>に帰還をかける。

【0017】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ3<sub>3</sub>とホトダイオード4<sub>3</sub>とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ3<sub>4</sub>とホトダイオード4<sub>4</sub>とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路6<sub>2</sub>の制御によって一定に保つように励起光源9<sub>2</sub>に帰還をかける。

【0018】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を光入力に対して無関係にする。また、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わされた状態で、均一な利得が得られるように設定されている。

【0019】さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11の減衰量を、ALC回路14によって、ホトダイオード13からなる後

段の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することによって、後段の光増幅部2の光出力レベルが一定に保たれる。可変光減衰器11としては、ファラデー回転子や、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)結晶の電気光学効果を利用したもの等を用いることができる。

【0020】前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との2段構成の各光増幅部1、2において、AGC制御を行なってその利得を一定に保つことにより、利得の波長依存性が、広い入力レンジにおいて一定に保たれる。

【0021】そして、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2とのそれぞれの出力スペクトルにおいて利得波長特性が均一、即ち、平坦特性であるようなAGC制御設定レベルをG<sub>0,1</sub>、G<sub>0,2</sub>としたとき、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2とのAGC制御の設定レベルG<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>を、G<sub>1</sub> ≥ G<sub>0,1</sub>、G<sub>2</sub> ≤ G<sub>0,2</sub>に設定する。それにより、各信号波長における利得の波長依存性を後段の光増幅部2で相殺するだけでなく、前段の光増幅部1が高い利得であるので、広い入力範囲で、低雑音特性を実現することができる。

【0022】なお図1の構成においては、前方励起構成としているが、後方励起構成でも、原理的には同じである。また、光入力モニタ及び光出力モニタにおいては、光入力パワーまたは光出力パワーの一部分(一部の波長部分)を、波長特性を有する光フィルタ等を通して検出する場合を含むものとする。

【0023】又図1に示す構成において、図2に示す特性とすることができます。同図において、(a)は前段の光増幅部の利得波長特性、(b)は後段の光増幅部の利得波長特性、(c)は前段の光増幅部と後段の光増幅部との2段構成の利得波長特性であって、λ(nm)は光の波長、G(dB)は利得を示し、(c)に示すように、合成した利得波長特性は平坦となる。

【0024】稀土類ドープファイバとして、アルミナ(A<sub>1</sub><sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を高濃度に添加したエルビウム(Er)ドープファイバを用いることにより、1550nm付近の増幅帯域において、図2に示すような利得の波長特性がほぼ線形であるような利得帯域特性を持たせることができる。

【0025】前述のアルミナ高濃度添加のErドープファイバにおける、Erイオンの吸収・放出の特性に依存して、1550nm付近の増幅帯域においては、励起率が高いとき、短波長側の利得が高く長波長側の利得が低いが、励起率が低いとき、長波長側の利得が高く短波長側の利得が低くなる。図2において、前段の光増幅部では、例えばファイバ長を長くして励起率を高くすることにより、図2の(a)に示すように長波長側が利得が低い特性とする。一方、後段の光増幅部では、例えばファイバ長を短くして励起率を低くすることによって、図2の(b)に示すように長波長側の利得が高くなるように

する。

【0026】この両者の特性によって、前段の光増幅部と後段の光増幅部の相互の利得の傾きを相殺し、全体としては、図2の(c)に見られるように、利得均一なスペクトル特性が得られるようになるとともに、前段の光増幅部を高効率にすることによって低雑音指数化し、後段の光増幅部を低効率にすることによって、効率向上とともに、高出力化・低消費電力化することができる。

【0027】実際に光増幅器を構成して得られた実験例として、4波(1548nm, 1551nm, 1554nm, 1557nm)増幅の場合、光入力レベル-25dBm～-15dBmにおいて、前段の光増幅部は、最大効率光パワー160mW(980nm)において、利得を20dB、利得チルトを1.5dBとし、後段の光増幅部は、最大効率光パワー100mW(1480nm)において、各チャネルにおける出力を+7dBmとした場合、雑音指数として、最大5.6dB、最大利得チルト0.2dBが得られた。

【0028】図3に示す実施例において、図1と同一符号は同一部分を示し、15は波長特性補償用の光フィルタであって、後段の光増幅部2の入力側に挿入されている。図4は、図3に示す構成の動作原理を示したものである。図4の(a)は前段の光増幅部1の利得波長特性、(b)は前段の光増幅部2と波長特性補償用光フィルタ15とを合わせた利得波長特性、(c)は後段の光増幅部2の利得波長特性、(d)は全体の利得波長特性を示す。

【0029】図3の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ $3_1$ とホトダイオード $4_1$ とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ $3_2$ とホトダイオード $4_2$ とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_1$ の制御によって一定に保つように、励起光源 $9_1$ に帰還をかける。

【0030】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ $3_3$ とホトダイオード $4_3$ とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ $3_4$ とホトダイオード $4_4$ とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_2$ の制御によって一定に保つように、励起光源 $9_2$ に帰還をかける。

【0031】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を光入力に対して無関係、あるいは入力依存性の小さい状態にする。また、波長特性補償用光フィルタ15によって、前段の光増幅部1における利得波長特性をさらに極端にし、後段の光増幅部2の利得波長特性によって、最終的に均一な利得波長特性を持つように設定する。

【0032】さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11の減衰量を、A

LC回路14によって、ホトダイオード13からなる後段の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することにより、後段の光増幅部2の光出力レベルを一定に保つ。

【0033】従って、前段の光増幅部1では、図4の(a)に示すように、長波長側が利得の低い特性を持たせて、前段の光増幅部1の効率を向上させて低雑音指数化に寄与し、波長特性補償用光フィルタ15を通して、図4の(b)に示すように、傾きを大きくし、後段の光増幅部2では図4の(c)に示すように長波長側が極端に高い特性を持たせて低効率とし、さらに後段の光増幅部2の効率を向上させて、さらなる高出力化、低消費電力化を図ることができる。

【0034】これらの特性によって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との相互の利得の傾きを相殺し、全体としては、図4の(d)に示すように、利得均一なスペクトル特性が得られる。

【0035】図5に示す実施例において、図1と同一符号は同一部分を示し、15は波長特性補償用光フィルタであって、後段の光増幅部2の出力側に挿入されている。また図6の(a)は前段の光増幅部1の利得波長特性、(b)は後段の光増幅部2の利得波長特性、(c)は後段の光増幅部2と波長特性補償用光フィルタ15とを合わせた利得波長特性、(d)は全体の利得波長特性を示す。

【0036】図5の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ $3_1$ とホトダイオード $4_1$ とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ $3_2$ とホトダイオード $4_2$ とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_1$ の制御によって一定に保つように、効率光源 $9_1$ に帰還をかける。

【0037】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ $3_3$ とホトダイオード $4_3$ とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ $3_4$ とホトダイオード $4_4$ とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_2$ の制御によって一定に保つように、効率光源 $9_2$ に帰還をかける。

【0038】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を光入力に対して無関係にする。従って、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性によって、ある程度均一に補正されるが、さらに後段の光増幅部2の出力側の波長特性補償用光フィルタ15によって、最終的に均一な利得特性を持たせるようになる。さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0039】従って、図6に示すように、前段の光増幅部1では、(a)のように長波長側が利得が低い特性を持たせ、前段の光増幅部1の効率を向上させて低雑音

指数化に寄与するとともに、後段の光増幅部2では、(b)のように長波長側が極端に利得が高い特性を持たせて低励起率にして、さらに後段の光増幅部2の励起効率を向上させて、さらなる高出力化・低消費電力化を図る。

【0040】また、図6の(c)に示すように、長波長側が利得が高いが、最後に、波長特性補償用光フィルタ15を通すことによって、利得の傾きを相殺し、全体としては、図6の(d)に示すように、利得均一なスペクトル特性が得られるようになる。

【0041】なお、図5に示された波長特性補償用光フィルタ15の実現手段としては、融着型カプラの波長周期を調節することによって、これを利得傾斜フィルタとして用いることができる。この例では、約3dBダウンのポイントで、線形な利得傾斜が得られる。

【0042】又図3に示す波長特性補償用光フィルタ15を、合波カプラとしての機能と兼用させて、後段の光増幅部2の入力側の波長特性補償用光フィルタを省略することができる。この場合の構成は、図1に示された構成と同様である。ただし、この場合、少なくとも前段の光増幅部1が後方励起であるか、または後段の光増幅部2が前方励起であることが必要である。

【0043】図7の(a)は合波器と励起光源の構成を示し、(b)は合波器の透過特性を示している。図中、21は合波器、22は励起光源である。合波器22の透過特性において、 $\lambda_p$ は励起光の波長、 $\lambda_s$ は信号光の波長であって、 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sn}$ は信号光の帯域を示している。実線は通常、通信に使用される特性を示し、点線は特性を変更した場合を示している。

【0044】図7の(a)に示す合波器21を、前段の光増幅部1の後方励起用合波器または後段の光増幅部2の前方励起用合波器として、波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sn}$ の信号光帯域において、図7の(b)のAで示すように、波長特性に傾斜を持たせることによって、図3に示す構成における波長特性補償用光フィルタ15の利得波長特性と同様の特性を持たせることができ、これによって、図4の(c)に示す場合と同様に、後段の光増幅部2の励起効率を向上させることができる。

【0045】又図5に示す構成における波長特性補償用光フィルタ15を、合波カプラとしての機能と兼用させて、後段の光増幅部2の出力側の波長特性補償用光フィルタを省略することができる。この場合の構成は、図1に示された構成と同様である。ただし、この場合、少なくとも後段の光増幅部2が後方励起であることが必要である。

【0046】図7(a)に示す合波器21を、後段の光増幅部の後方励起用合波器として、波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sn}$ の信号光帯域において、図7(b)に示すように、波長特性に傾斜を持たせることによって、実施例(4)の場合の波長特性補償用光フィルタにおける、利得波長特性と同様

の特性を持たせることができ、これによって、図6(b)におけるように、後段の光増幅部の励起効率を向上させることができる。

【0047】図8に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示し、10はAPC(Automatic Power Control)回路であり、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ3<sub>1</sub>とホトダイオード4<sub>1</sub>とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ3<sub>2</sub>とホトダイオード4<sub>2</sub>とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路6<sub>1</sub>の制御によって一定に保つように、励起光源9<sub>1</sub>に帰還をかける。

【0048】後段の光増幅部2においては、APC回路10によって、励起光源9<sub>2</sub>に帰還をかけて、励起光源9<sub>2</sub>の励起光出力が一定になるよう制御を行なっている。後段の光増幅部2においては、光入出力条件が、可変光減衰器11によってほぼ一定に保たれるので、励起光出力を一定にするAPC制御を行うことにより、利得波長特性を入力パワーに無依存にするための制御の簡略化を図っている。

【0049】この場合、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得波長特性となるように設定されている。さらに前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との間に配置された可変光減衰器11によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0050】図9に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示す。この場合の構成は、可変光減衰器11を、後段の光増幅部2の出力側に設けた点が、図1の構成とは相違している。

【0051】この図9に示す構成は、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ3<sub>1</sub>とホトダイオード4<sub>1</sub>とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ3<sub>2</sub>とホトダイオード4<sub>2</sub>とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路6<sub>1</sub>の制御によって一定に保つように、励起光源9<sub>1</sub>に帰還をかける。

【0052】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ3<sub>3</sub>とホトダイオード4<sub>3</sub>とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ3<sub>4</sub>とホトダイオード4<sub>4</sub>とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路6<sub>2</sub>の制御によって一定に保つように、励起光源9<sub>2</sub>に帰還をかける。

【0053】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との利得波長特性を、光入力パワーに対して無依存にする。また、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせた状態で、均一な利得が得られるよう設定されている。

【0054】さらに、後段の光増幅部2の後方に配置された可変光減衰器11の減衰量を、ALC回路14によって、光分岐カプラ12と、ホトダイオード13とから

なる後段の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することにより、後段の光増幅部2の光出力レベルが一定に保たれる。

【0055】この場合、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との間での利得損失の増加がないので、雑音指数の劣化はあまり生じないが、可変光減衰器11の前にある後段の光増幅部2の出力レベルが高いことが要求される等により、図1に示す構成に比較して、格段に高い励起光エネルギーを必要とすることになる。

【0056】次の図10、図11、図12に示す構成は、図1に示す構成と組合せることも可能である。即ち、AGC制御手段を、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2とにに対して適用することも可能なものである。図10に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示し、20<sub>1</sub>、20<sub>2</sub>は側方向ホトダイオード(PD)である。

【0057】ホトダイオード20<sub>1</sub>、20<sub>2</sub>は、稀土類ドープファイバ7、8の側面から漏出する自然放出光(Amplified Spontaneous Emission: ASE)を検出して、AGC回路6<sub>1</sub>、6<sub>2</sub>に帰還し、AGC回路6<sub>1</sub>、6<sub>2</sub>から励起光源9<sub>1</sub>、9<sub>2</sub>の励起パワーを制御して、自然放出光レベルを一定に保つことにより、結果として、前段の光増幅部1及び後段の光増幅部2の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0058】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との利得波長特性を、光入力レベルに対して無依存にすることができる。また前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得を持つように設定されている。さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0059】図11に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示し、16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>は1530/1550 WDMカプラであって、1530 nm帯の光(自然放出光)と、1550 nm帯の光(信号光)とを分離する。17<sub>1</sub>、17<sub>2</sub>は自然放出光(ASE)を検出するASE検出用ホトダイオード(PD)である。

【0060】図11の構成において、前段の光増幅部1では、前段の稀土類ドープファイバ7内を入力側方向に伝搬する後方ASE(1530 nm)を、1530/1550 WDMカプラ16<sub>1</sub>で分離して、ASE検出用ホトダイオード17<sub>1</sub>で検出し、AGC回路6<sub>1</sub>に帰還して、励起光源9<sub>1</sub>の励起パワーを制御し、後方ASEのレベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部1の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0061】後段の光増幅部2においても同様に、後段の稀土類ドープファイバ8内を入力方向に伝搬する後方ASE(1530 nm)を、1530/1550 WDMカプラ16<sub>2</sub>で分離して、ASE検出用ホトダイオード

17<sub>2</sub>で検出し、AGC回路6<sub>2</sub>に帰還して、励起光源9<sub>2</sub>の励起パワーを制御し、後方ASEのレベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部2の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0062】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を、光入力レベルに対して無依存にすることができる。また前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得を持つように設定されている。さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0063】図12に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示し、5<sub>3</sub>、5<sub>4</sub>は信号光・励起光分波カプラ、18<sub>1</sub>、18<sub>2</sub>は残留励起光検出用ホトダイオード(PD)である。この図12の構成において、前段の光増幅部1では、励起光源9<sub>1</sub>から前段の稀土類ドープファイバ7内を伝搬する励起光を、稀土類ドープファイバ7の他端に配置された信号光・励起光分波カプラ5<sub>3</sub>で分離して、残留励起光検出用ホトダイオード18<sub>1</sub>でそのレベルを検出し、これをAGC回路6<sub>1</sub>に帰還して、励起光源9<sub>1</sub>の励起パワーを制御し、残留励起光のレベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部1の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0064】後段の光増幅部2においても同様に、後段の稀土類ドープファイバ8内を伝搬する励起光を、稀土類ドープファイバ8の他端に配置された信号光・励起光分波カプラ5<sub>4</sub>で分離して、残留励起光検出用ホトダイオード18<sub>2</sub>でそのレベルを検出し、これをAGC回路6<sub>2</sub>に帰還して、励起光源9<sub>2</sub>の励起パワーを制御し、残留励起光のレベルを一定に保つことによって、後段の光増幅部2の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0065】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を、光入力レベルに対して無依存にすることができる。また前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得を持つように設定されている。さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0066】図13に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示す。ただし、光分岐カプラ12が、前段の光増幅部1の後方に配置された可変光減衰器11と、後段の光増幅部2との間に挿入されている点が異なっている。

【0067】図13の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ3<sub>1</sub>とホトダイオード4<sub>1</sub>とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ3<sub>2</sub>とホトダイオード4<sub>2</sub>とからなる前段光出力モニタ部で検出される

光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_1$ の制御によって一定に保つように、励起光源 $9_1$ に帰還をかける。

【0068】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ $3_3$ とホトダイオード $4_3$ とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ $3_4$ とホトダイオード $4_4$ とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_2$ の制御によって一定に保つように、励起光源 $9_2$ に帰還をかける。

【0069】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を光入力に対して無関係にする。また、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせた状態で、均一な利得が得られるよう設定されている。

【0070】さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11の減衰量を、ALC回路 $14$ によって、光分岐カプラ $12$ とホトカプラ $13$ からなる段間光入力モニタ部で検出された光レベルに応じて制御することにより、後段の光増幅部2の光入力レベルが一定に保たれる。従って、等価的に、光増幅器全体として光出力一定にする制御が実現されている。

【0071】なお、図13に示す構成において、可変光減衰器11の減衰量を、光分岐カプラ $12$ の分岐光に基づいて制御する代わりに、後段の光増幅部2の入力側の光分岐カプラ $3_3$ の分岐光に基づいて制御を行う構成として、後段の光増幅部2の光入力レベルを一定に保つようにもよい。

【0072】図14に示す構成において、図1と同一符号は同一部分を示し、 $14_1$ ,  $14_2$ はALC回路である。この図14の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ $3_1$ とホトダイオード $4_1$ とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ $3_2$ とホトダイオード $4_2$ とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比、即ち、光利得を、AGC回路 $6_1$ の制御によって一定に保つように、励起光源 $9_1$ に帰還をかける。

【0073】後段の光増幅部2においては、光分岐カプラ $3_4$ とホトダイオード $4_4$ とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルをALC回路 $14_2$ に帰還することによって、後段の光増幅部の出力レベルが一定に制御される。

【0074】さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11の減衰量を、ALC回路 $14_1$ によって、光分岐カプラ $12$ とホトカプラ $13$ からなる段間の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することにより、後段の光増幅部2の光入力レベルが一定に保たれる。

【0075】従って、後段の光増幅部2の光入力レベルが一定であるため、後段の光増幅部2の動作は、実質上、AGC制御されたものと等価であり、前段の光増幅

部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせた状態で、均一な利得が得られるよう設定されるので、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の全体として、利得波長特性が光入力パワーに無依存となる。

【0076】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、入出力光レベルの比が一定になるように制御される前段の光増幅部1と、後段の光増幅部2と、光パワーを一定に維持するように減衰量が制御される可変光減衰器と、波長特性補償用の光フィルタとを備えたことにより、波長多重光信号の一括增幅時に、利得の波長依存性がなく、また波長依存性が入力パワーの大きさによって変化しないようにすることができ、波長多重システムにおける波長多重光信号を安定に増幅することができる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例(1)を示す図である。

【図2】本発明の実施例(2)における動作原理を示す図である。

【図3】本発明の実施例(3)を示す図である。

【図4】本発明の実施例(3)における動作原理を示す図である。

【図5】本発明の実施例(4)を示す図である。

【図6】本発明の実施例(4)における動作原理を示す図である。

【図7】本発明の実施例(5)における合波器の特性を示す図である。

【図8】本発明の実施例(7)を示す図である。

【図9】本発明の実施例(8)を示す図である。

【図10】本発明の実施例(9)を示す図である。

【図11】本発明の実施例(10)を示す図である。

【図12】本発明の実施例(11)を示す図である。

【図13】本発明の実施例(12)を示す図である。

【図14】本発明の実施例(13)を示す図である。

【符号の説明】

1, 2 光増幅部

$3_1 \sim 3_4$  光分岐カプラ

$4_1 \sim 4_4$  ホトダイオード(PD)

$5_3$ ,  $5_4$  信号光・励起光分波カプラ

$6_1$ ,  $6_2$  AGC回路

7 稀土類ドープファイバ

8 稀土類ドープファイバ

$9_1$ ,  $9_2$  励起光源

10 APC回路

11 可変光減衰器(ATR)

12 ALCL用光分岐カプラ

13 ホトダイオード

$14_1$ ,  $14_2$  ALCL回路

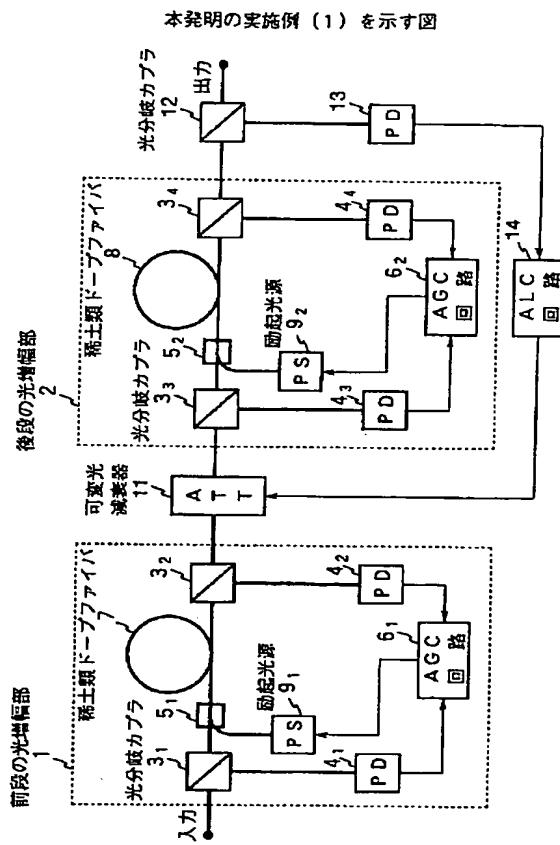
15 光フィルタ

$16_1$ ,  $16_2$  1530/1550WDMカプラ

$17_1$ ,  $17_2$ ,  $18_1$ ,  $18_2$ ,  $20_1$ ,  $20_2$  ホ

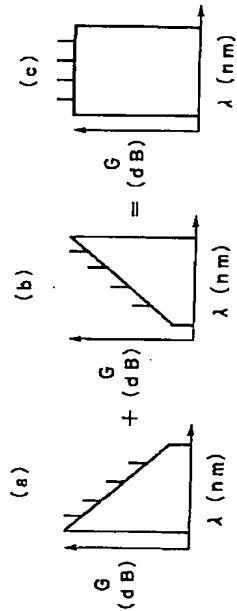
トダイオード

【図1】

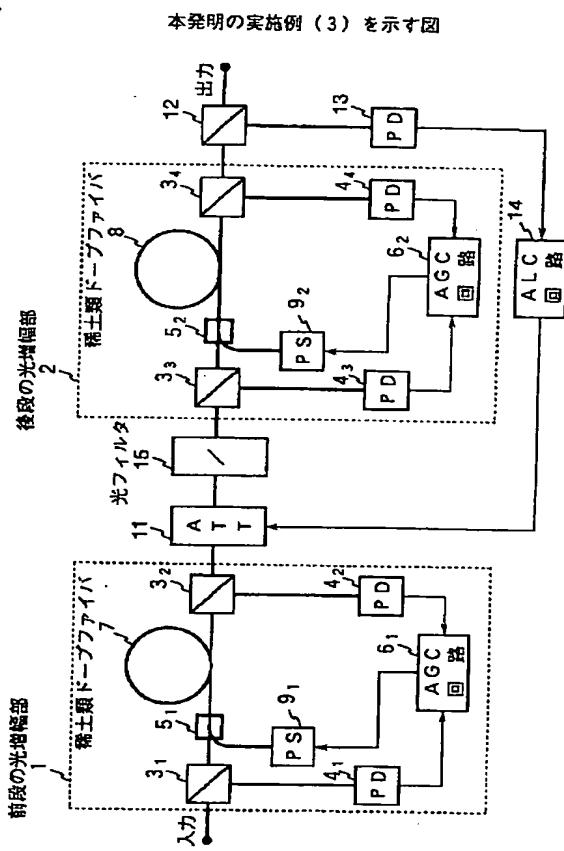


【図2】

本発明の実施例（2）における動作原理を示す図

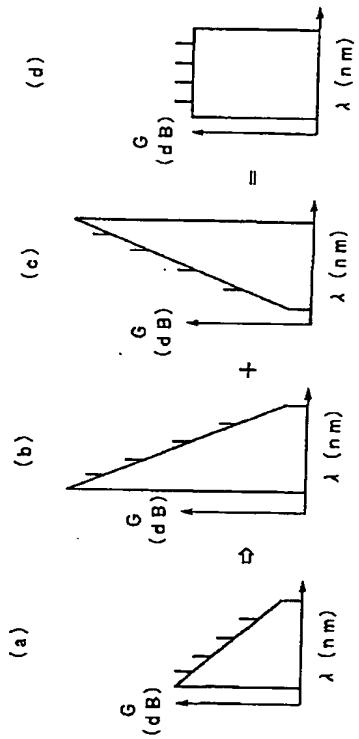


【図3】



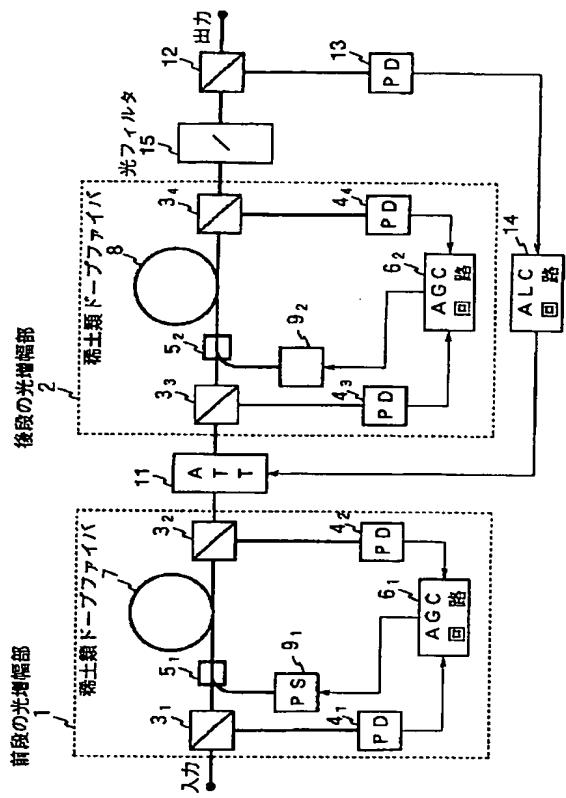
【図4】

本発明の実施例（3）における動作原理を示す図



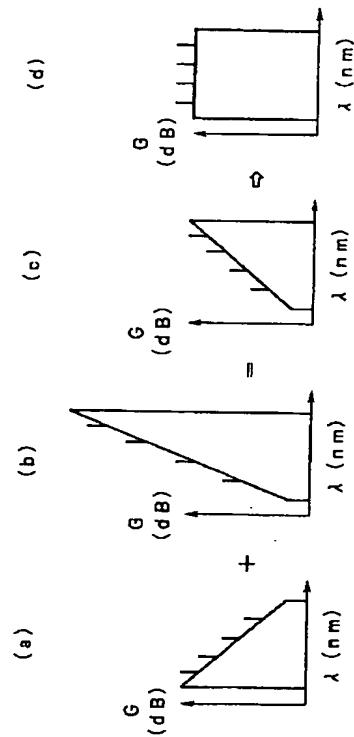
【図5】

本発明の実施例(4)を示す図



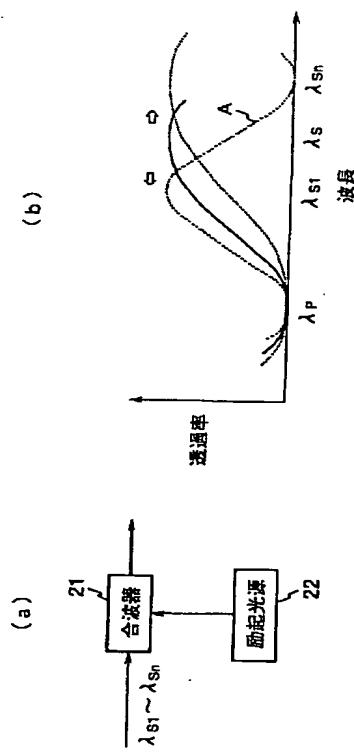
【図6】

本発明の実施例(4)における動作原理を示す図



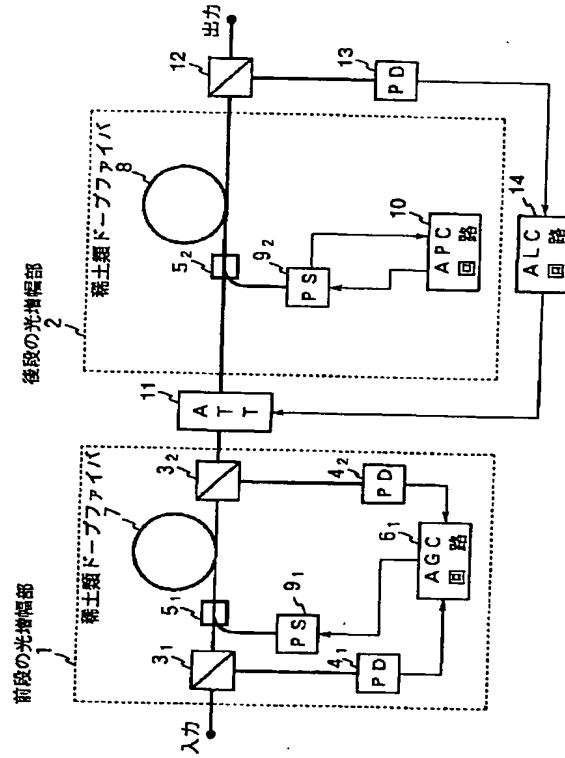
【図7】

本発明の実施例(5)における合波器の特性を示す図



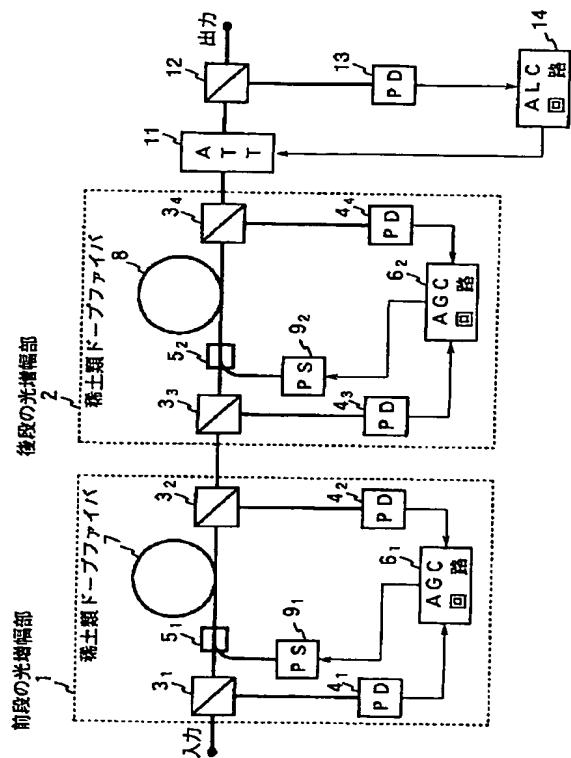
【図8】

本発明の実施例(7)を示す図



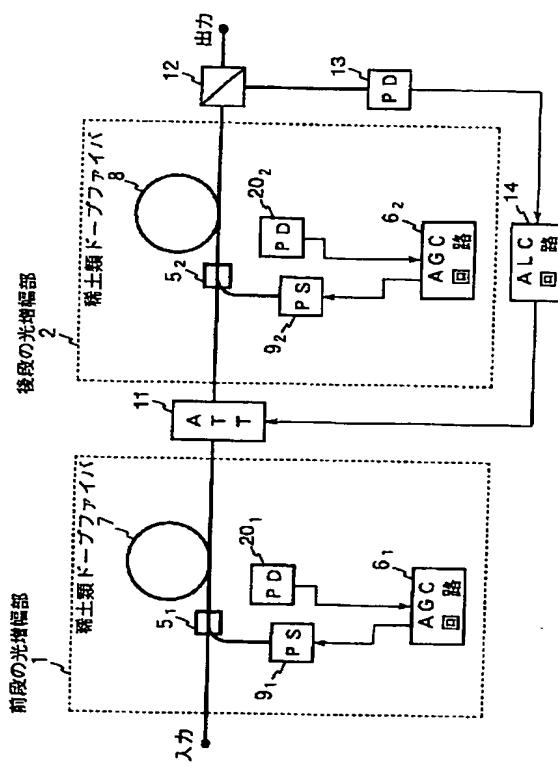
【図9】

本発明の実施例(8)を示す図

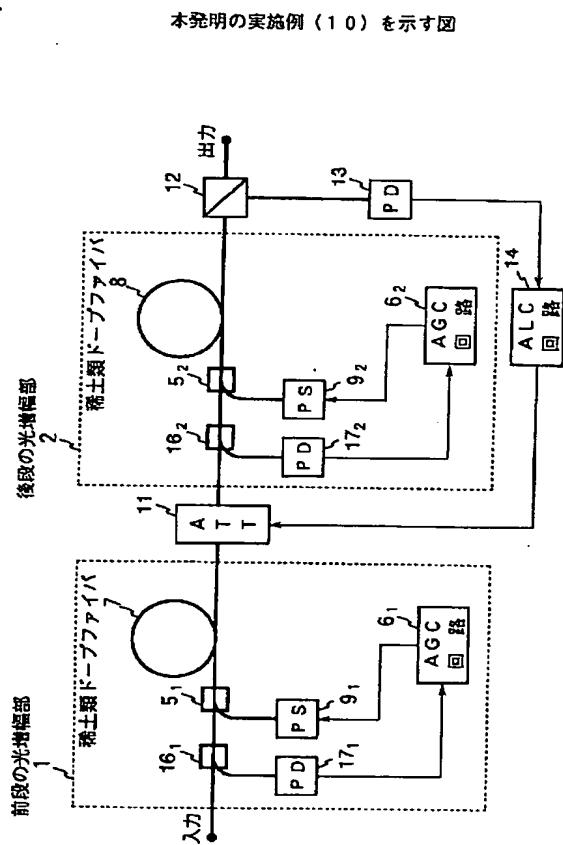


【図10】

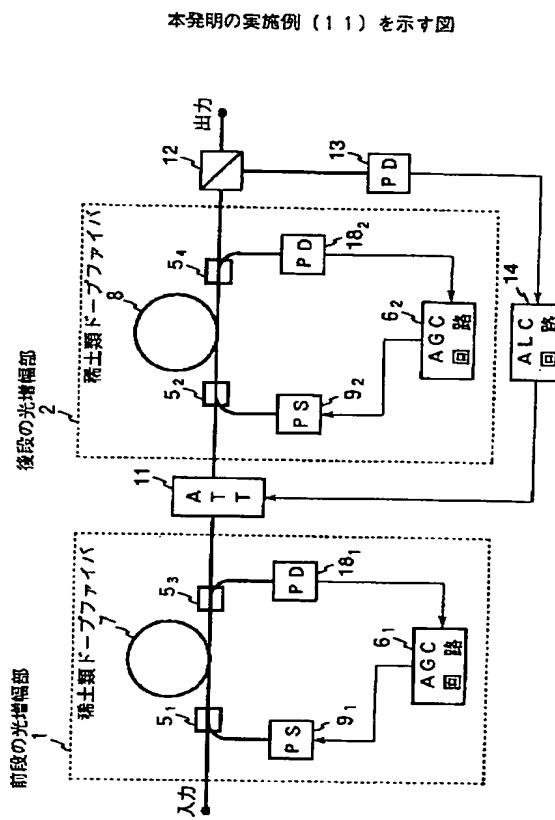
本発明の実施例(9)を示す図



【図11】

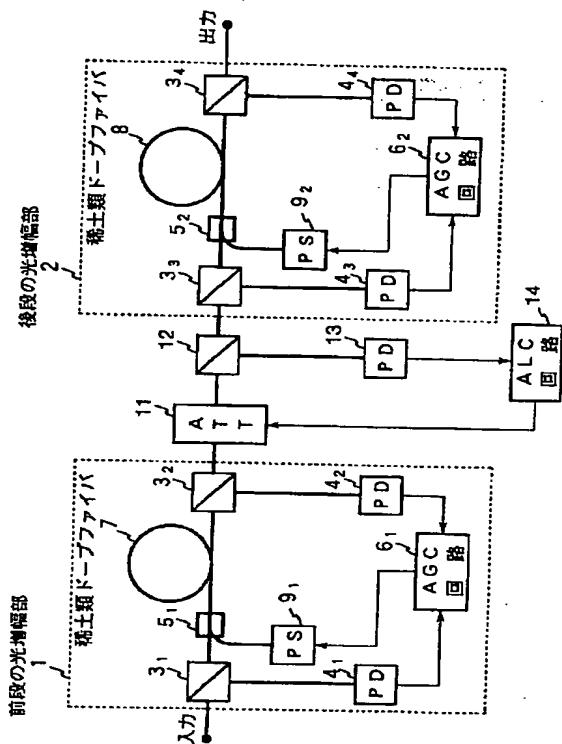


【図12】



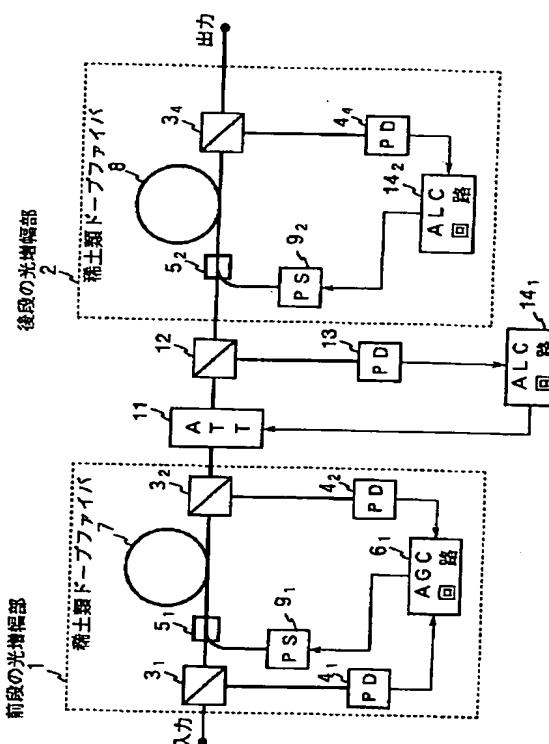
【図13】

本発明の実施例(12)を示す図



【図14】

本発明の実施例(13)を示す図



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7  
H04B 10/17  
10/18

識別記号

F I

テクニカル (参考)

(72) 発明者 木下 進  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 近間 輝美  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内  
F ターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 HH03 JJ05  
JJ20 MM01 MM20 PP09 RR01  
YY17  
5K002 AA06 CA03 CA10 CA13